



5 / Priority
Doc.
E. Millio
7-24-02

1c971 U.S. PTO
10/025057
12/18/01

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 100 63 087.1
Anmeldetag: 18. Dezember 2000
Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft,
München/DE
Bezeichnung: Gradientenspulensystem
IPC: G 01 R 33/385

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 05. April 2001
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Ebert

Beschreibung

Gradientenspulensystem

- 5 Die Erfindung betrifft ein Gradientenspulensystem, insbesondere für ein Magnetresonanzgerät.

Die Magnetresonanztechnik ist eine bekannte Technik zum Gewinnen von Bildern eines Körperinneren eines Untersuchungsobjekts. Dabei werden in einem Magnetresonanzgerät einem statischen Grundmagnetfeld, das von einem Grundfeldmagnetsystem erzeugt wird, schnell geschaltete Gradientenfelder überlagert, die von einem Gradientensystem erzeugt werden. Ferner umfasst das Magnetresonanzgerät ein Hochfrequenzsystem, das zum Auslösen von Magnetresonanzsignalen Hochfrequenzsignale in das Untersuchungsobjekt einstrahlt und die erzeugten Magnetresonanzsignale aufnimmt, auf deren Basis Magnetresonanzbilder erstellt werden.

- 20 Das Gradientensystem umfasst ein Gradientenspulensystem mit Gradientenspulen und gesteuerte Gradientenverstärker. Eine der Gradientenspulen erzeugt für eine bestimmte Raumrichtung ein Gradientenfeld, das im wünschenswerten Idealfall wenigstens innerhalb eines Abbildungsvolumens ausschließlich eine Hauptfeldkomponente, die kollinear zum Grundmagnetfeld ist, aufweist. Die Hauptfeldkomponente weist dabei einen vorgebbaren Hauptgradienten auf, der zu jedem beliebigen Zeitpunkt zumindest innerhalb des Abbildungsvolumens ortsunabhängig näherungsweise gleich groß ist. Da es sich bei dem Gradientenfeld um ein zeitlich variables Magnetfeld handelt, gilt Vorgenanntes zwar für jeden Zeitpunkt, aber von einem Zeitpunkt zu einem anderen Zeitpunkt ist eine Stärke des Hauptgradienten variabel. Die Richtung des Hauptgradienten ist in der Regel durch das Design der Gradientenspule fest vorgegeben.
- 35

Aufgrund der Maxwell'schen Grundgleichungen sind aber entgegen dem wünschenswerten Idealfall keine Gradientenspulen ausbildbar, die über das Abbildungsvolumen ausschließlich vorgenannte Hauptfeldkomponente aufweisen. Dabei geht mit der Hauptfeldkomponente wenigstens eine Begleitfeldkomponente einher, die senkrecht zur Hauptfeldkomponente gerichtet ist.

Zum Erzeugen des Gradientenfeldes sind in der Gradientenspule entsprechende Ströme einzustellen. Dabei betragen die Amplituden der erforderlichen Ströme mehrere 100 A. Die Stromanstiegs- und -abfallraten (Slewrate) betragen mehrere 100 kA/s. Zur Stromversorgung ist die Gradientenspule an einen gesteuerten Gradientenverstärker angeschlossen.

Durch das Schalten der Gradientenfelder können bei Magnetresonanzbildaufnahmen in einem lebenden Untersuchungsobjekt Stimulationen ausgelöst werden. Die dabei auf das Untersuchungsobjekt einwirkenden Gradientenfelder sind durch eine sich zeitlich verändernde, magnetische Flussdichte gekennzeichnet, die im Untersuchungsobjekt Wirbel- und Induktionsströme erzeugt. Die Stärke vorgenannter elektrischer Ströme hängt unter anderem von der Querschnittsfläche, die das Gradientenfeld durchsetzt, sowie von der zeitlichen Veränderung des Gradientenfeldes ab. Vorgenannte Ströme durchfließen dabei Bereiche des Untersuchungsobjekts mit unterschiedlicher elektrischer Leitfähigkeit und bewirken dabei entsprechende elektrische Spannungen. Überschreitet dabei die Spannung eine bestimmte Schwelle, so führt dies zur Auslösung von Stimulationen des Untersuchungsobjekts. Aus der DE 42 25 592 A1 ist dazu beispielsweise bekannt, dass bei geschalteten Gradientenfeldern die höchsten Strom- bzw. Spannungswerte am Rande bzw. außerhalb des Abbildungsvolumens induziert werden, wo der Feldhub der magnetischen Flussdichte des Gradientenfeldes maximal ist, so dass dort die Gefahr von Stimulationen am größten ist.

- Zur Vermeidung derartiger Stimulationen ist aus der DE 42 25 592 A1 bekannt, stimulationsempfindliche Bereiche außerhalb des Abbildungsvolumens mit einer geschlossenen Leiterschleife zu überdecken. Daraus resultiert eine Verringerung der im überdeckten Bereich induzierten Ströme. Vorgenannte Überdeckungen sind allerdings nur außerhalb des Abbildungsvolumens und auch nicht in Randbereichen des Abbildungsvolumens möglich, weil ansonsten die für die Bildqualität wichtige Linearität der Gradientenfelder im Abbildungsvolumen und die Homogenität des Grundmagnetfeldes beeinträchtigt werden. Ferner ist nachteilig, dass bei einer Änderung eines abzubildenden Bereichs des Untersuchungsobjekts in der Regel auch die Lage der Leiterschleifen angepasst werden muss.
- 15 In der DE 195 27 020 C1 ist im Rahmen eines hohlzylinderförmigen Gradientenspulensystems für eine transversale Gradientenspule eine Kombination aus einer Segment-Gradientenspule und einer aus sattelförmigen Teilspulen aufgebauten Gradientenspule beschrieben. Dabei sollen durch die Kombination die Vorteile beider Typen von Gradientenspulen aufrechterhalten werden und gleichzeitig deren Nachteile verringert werden. Als ein Nachteil der aus sattelförmigen Teilspulen aufgebauten Gradientenspule ist angeführt, dass sie eine starke Begleitfeldkomponente aufweist, die stärker als die nutzbare Hauptfeldkomponente ist. Durch die Kombination soll unter anderem die Begleitfeldkomponente und damit die Gefahr von Stimulationen durch schnell geschaltete Gradienten deutlich verringert werden.
- 30 Eine Aufgabe der Erfindung ist es, ein verbessertes Gradientenspulensystem zu schaffen, mit dem unter anderem hohe Stärken eines schnell geschalteten Gradientenfeldes ohne Stimulationen eines lebenden Untersuchungsobjekts erzielbar sind.
- 35 Die Aufgabe wird durch den Gegenstand des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Ein Gradientenspulensystem gemäß Anspruch 1 beinhaltet folgende Merkmale:

- 5 - Wenigstens eine Gradientenspule mit einer Leiteranordnung zum Erzeugen eines magnetischen Gradientenfeldes, das eine Hauptfeldkomponente kollinear zu einem Grundmagnetfeld und wenigstens eine zur Hauptfeldkomponente senkrechte Begleitfeldkomponente aufweist, und
- 10 - wenigstens eine weitere Leiteranordnung, die zum Erzeugen eines inhomogenen Magnetfeldes derart ausgebildet und angeordnet ist, dass wenigstens in einem Bereich die Hauptfeldkomponente in etwa unverändert und die Begleitfeldkomponente verringert ist.

Dadurch ist die an sich unerwünschte Begleitkomponente wenigstens in einem Bereich kompensierbar, in dem sich ein mittels der Magnetresonanztechnik zu untersuchendes lebendes Objekt erstreckt. Dadurch kann das Untersuchungsobjekt durchflutende Gradientenfeld auf die magnetresonanzbildwirksame Hauptfeldkomponente verringert und somit eine Stimulationswahrscheinlichkeit des Untersuchungsobjekts verkleinert bzw. eine gefahrlos nutzbare Stärke des Gradientenfeldes erhöht werden.

25 Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den im folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung. Dabei zeigen:

Figur 1 ein Magnetresonanzgerät,

30 Figur 2 eine Schicht eines hohlzylinderförmigen Gradientenspulensystems des Magnetresonanzgeräts,

Figur 3 sattelförmig ausgebildete Teilspulen einer Gradientenspule sowie einer zugehörigen Abschirmspule, deren longitudinale Leiterabschnitte entsprechend einem Koaxialleiter angeordnet sind,

35

Figur 4 sattelförmig ausgebildete Teilspulen einer Gradientenspulen sowie einer zugehörigen Abschirmspule, deren longitudinale Leiterabschnitte eng benachbart angeordnet sind, und

5 Figur 5 sattelförmig ausgebildete Teilspulen einer Gradientenspule sowie einer zugehörigen Abschirmspule, deren longitudinale Leiterabschnitte verschränkt angeordnet sind.

Die Figur 1 zeigt in einer perspektivischen Ansicht ein Magnetresonanzgerät. Dabei umfasst das Magnetresonanzgerät zum Erzeugen eines wenigstens innerhalb eines Abbildungsvolumens 120 möglichst homogenen statischen Grundmagnetfeldes B_0 ein Grundfeldmagnetsystem 110. Des weiteren umfasst das Magnetresonanzgerät zum Erzeugen von Gradientenfeldern ein Gradientenspulensystem 200. Eine verfahrbare Lagerungsvorrichtung 130 des Geräts dient unter anderem dazu, einen abzubildenden Bereich eines auf der Lagerungsvorrichtung 130 gelagerten Untersuchungsobjekts im Abbildungsvolumen 120 zu positionieren. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind weitere Komponenten des Geräts, beispielsweise ein Antennensystem, nicht dargestellt.

Das Gradientenspulensystem 200 ist im Wesentlichen hohlzylinderförmig ausgebildet und beinhaltet unter anderem eine longitudinale Gradientenspule zum Erzeugen eines magnetischen Gradientenfeldes mit einem Hauptgradienten in Richtung des Grundmagnetfeldes B_0 , zwei transversale Gradientenspulen zum Erzeugen von magnetischen Gradientenfeldern mit Hauptgradienten senkrecht zum Grundmagnetfeld B_0 , Kühleinrichtungen, Shim-Einrichtungen und den jeweiligen Gradientenspulen zugehörige Abschirmspulen.

Die Figur 2 zeigt eine hohlzylinderförmige Schicht 205 des Gradientenspulensystems 200, innerhalb derer eine der transversalen Gradientenspulen angeordnet ist. Die transversale Gradientenspule umfasst vier sattelförmig ausgebildete Teilspulen 211 bis 214, beispielsweise in einer Ausführungs-

form als sogenannte Fingerprint-Spulen. Ein Verlauf eines Leiters einer der Teilspulen 211, 212, 213 bzw. 214 ist für die vier Teilspulen 211 bis 214 lediglich skizzenhaft umrissen und mit exemplarisch wenigen Windungen dargestellt. Das
5 hohlzylinderförmige Gradientenspulensystem 200 weist eine Hohlzylinderhauptachse 201 auf, die einem Richtungsvektor des Grundmagnetfeldes B_0 parallel ist.

Die Figur 3 zeigt als ein Ausführungsbeispiel der Erfindung
10 sattelförmig ausgebildete Teilspulen einer Gradientenspule sowie einer zugehörigen Abschirmspule, deren longitudinale Leiterabschnitte entsprechend einem Koaxialleiter angeordnet sind. Dabei wird zum Erläutern beispielhaft auf die sattelförmig ausgebildete Teilspule 201 der transversalen Gradienten-
15 tenspule aus der Figur 2 zurückgegriffen. In der Figur 3 ist die Teilspule 211 idealisiert und exemplarisch mit lediglich einer Windung dargestellt. Dabei umfasst die Windung zwei bogenartige, in Umfangsrichtung des Hohlzylinders verlaufende Leiterabschnitte 221 und 222 sowie zwei gerade, parallel zur
20 Hohlzylinderhauptachse 201 verlaufende longitudinale Leiterabschnitte 231 und 232. Zum Einspeisen eines entsprechenden elektrischen Stromes in die Windung weist der bogenartige Leiterabschnitt 221 eine Unterbrechung auf, die zwei Anschlusspunkte bildet, über die die Teilspule 211 entsprechend
25 bestrombar ist. Ein in den bogenartigen Leiterabschnitten 221 und 222 fließender elektrischer Strom bewirkt dabei im Wesentlichen eine gewünschte Hauptfeldkomponente des mit der Gradientenspule erzeugbaren magnetischen Gradientenfeldes. Dahingegen bewirkt der in den longitudinalen Leiterabschnitten 231 und 232 fließende Strom im Wesentlichen wenigstens
30 eine an sich unerwünschte Begleitfeldkomponente des Gradientenfeldes.

In einer hohlzylinderförmigen Schicht, die bezüglich der
35 Schicht 205 der Teilspule 221 weiter außen im Gradientenspulensystem 200 lokalisiert ist, sind bogenartige Leiterabschnitte 321 und 322 einer ebenfalls sattelförmig ausgebilde-

ten Teilspule einer zur Gradientenspule zugehörigen Abschirmspule angeordnet. Ähnlich wie der bogenartige Leiterabschnitt 221 der Gradientenspule ist auch der bogenartige Leiterabschnitt 321 der Abschirmspule zum Einspeisen eines Stromes unterbrochen. Dabei ist die Abschirmspule mit der Gradientenspule derart verschaltet, dass ein in der Teilspule 211 fließender Strom mit einer entgegengesetzten Richtung gleichzeitig in der Teilspule der Abschirmspule fließt. Des weiteren umfasst die Teilspule der Abschirmspule, die ebenfalls idealisiert mit lediglich einer Windung dargestellt ist, neben den bogenartigen Leiterabschnitten 321 und 322 radial ausgebildete Leiterabschnitte 341 bis 344 und rohrartig ausgebildete longitudinale Leiterabschnitte 331 und 332. Dabei sind der rohrartige Leiterabschnitt 331 bzw. 323 der Abschirmspule und der longitudinale Leiterabschnitt 231 bzw. 232 der Gradientenspule voneinander elektrisch isoliert, einen Koaxialleiter bildend angeordnet. Bei Betrieb des Gradientenspulensystems 200 sind die rohrartigen Leiterabschnitte 331 und 332 der Abschirmspule bezüglich der zugehörigen longitudinalen Leiterabschnitte 231 und 232 der Gradientenspule gleichzeitig von Strömen gleicher Stärke, aber entgegengesetzter Richtung, durchflossen. Die im Wesentlichen durch den Stromfluss in den longitudinalen Leiterabschnitten 231 und 232 der Gradientenspule verursachte, an sich unerwünschte Begleitfeldkomponente wird infolge der Koaxialeiteranordnung durch ein inhomogenes Magnetfeld kompensiert, das der Stromfluss in den rohrartigen Leiterabschnitte 331 und 332 der Abschirmspule bewirkt. Die gewünschte Hauptfeldkomponente des magnetischen Gradientenfeldes bleibt dadurch unverändert.

Die Figur 4 zeigt als ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung sattelförmig ausgebildete Teilspulen einer Gradientenspule sowie einer zugehörigen Abschirmspule, deren longitudinalen Leiterabschnitte eng benachbart angeordnet sind.

Die in der Figur 4 dargestellte Leiteranordnung unterscheidet sich von der in der Figur 3 beschriebenen im Wesentlichen durch eine andere Ausführung und Gestaltung der longitudina-

len Leiterabschnitte sowohl der Gradientenspule als auch der zugehörigen Abschirmspule. Betriebs- und Wirkungsweise hinsichtlich der Kompensation der Begleitfeldkomponente sind aber entsprechend. Die sattelförmig ausgebildete Teilspule

5 der Gradientenspule umfasst neben den bogenartigen Leiterabschnitten 221 und 222 radial ausgebildete Leiterabschnitte 241 bis 244 sowie longitudinale Leiterabschnitte 233 und 234. Dabei liegen die longitudinalen Leiterabschnitte 233 und 234 in einer hohlzylinderförmigen Schicht des Gradientenspulensystems 200, die bezüglich einer hohlzylinderförmigen Schicht

10 der bogenartigen Leiterabschnitte 221 und 222 beabstandet und weiter außen innerhalb des Gradientenspulensystems 200 angeordnet ist. Die Teilspule der Abschirmspule umfasst neben den bogenartigen Leiterabschnitten 321 und 322 radial ausgebildete

15 Leiterabschnitte 351 bis 354 sowie longitudinale Leiterabschnitte 333 und 334. Dabei sind die longitudinalen Leiterabschnitte 333 und 334 der Abschirmspule von den longitudinalen Leiterabschnitten 233 und 234 elektrisch isoliert, in einer hohlzylinderförmigen Schicht angeordnet, die die Schicht der

20 longitudinalen Leiterabschnitte 233 und 234 der Gradientenspule unmittelbar angrenzend umschließt. Bezüglich der Schicht der longitudinalen Leiterabschnitte 333 und 334 der Abschirmspule sind die bogenartigen Leiterabschnitte 321 und 322 der Abschirmspule in einer hohlzylinderförmigen Schicht

25 gelegen, die weiter außen im Gradientenspulensystem 200 angeordnet ist.

Die Figur 5 zeigt als ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung sattelförmig ausgebildete Teilspulen einer Gradientenspule sowie einer zugehörigen Abschirmspule, deren longitudinale

30 Leiterabschnitte verschränkt angeordnet sind. Gegenüber der Leiteranordnung der Figur 4 sind in der Figur 5 longitudinale Leiterabschnitte 235 und 236 sowie radial ausgebildete Leiterabschnitte 261 bis 264 der Gradientenspule so-

35 wie longitudinale Leiterabschnitte 335 und 336 und radial ausgebildete Leiterabschnitte 361 bis 364 der Abschirmspule derart angeordnet und ausgebildet, dass der longitudinale

Leiterabschnitt 235 bzw. 236 der Gradientenspule bezüglich dem longitudinalen Leiterabschnitt 335 bzw. 336 der Abschirmspule eine Verschränkung aufweist. Bei vorgenannter Verschränkung sind die longitudinalen Leiterabschnitte 235 und 236 der Gradientenspule in einer hohlzylinderförmigen Schicht des Gradientenspulensystems 200 angeordnet, die weiter außen im Gradientenspulensystem 200 liegt, als eine hohlzylinderförmige Schicht, in der die longitudinalen Leiterabschnitte 335 und 336 der Abschirmspule angeordnet sind. Dadurch wird aufgrund einer in der Regel größeren Windungsanzahl der Gradientenspule gegenüber der Abschirmspule, insbesondere für einen Bereich im Hohlzylinderinneren, in dem sich ein Untersuchungsobjekt erstrecken kann, eine gute Kompensation der Begleitfeldkomponente erreicht.

Patentansprüche

1. Gradientenspulensystem (200), insbesondere für ein Magnetresonanzgerät, beinhaltend folgende Merkmale:

- 5 - Wenigstens eine Gradientenspule mit einer Leiteranordnung zum Erzeugen eines magnetischen Gradientenfeldes, das eine Hauptfeldkomponente kollinear zu einem Grundmagnetfeld (B_0) und wenigstens eine zur Hauptfeldkomponente senkrechte Begleitfeldkomponente aufweist, und
- 10 - wenigstens eine weitere Leiteranordnung, die zum Erzeugen eines inhomogenen Magnetfeldes derart ausgebildet und angeordnet ist, dass wenigstens in einem Bereich die Hauptfeldkomponente in etwa unverändert und die Begleitfeldkomponente verringert ist.

15

2. Gradientenspulensystem (200) nach Anspruch 1, beinhaltend folgende Merkmale:

- Die Leiteranordnung der Gradientenspule weist wenigstens einen Leiterabschnitt (231 bis 236) auf, dessen Längsverlauf eine Komponente parallel zum Grundmagnetfeld (B_0) aufweist, und
- 20 - die weitere Leiteranordnung umfasst wenigstens einen Leiterabschnitt (331 bis 336), der dem Leiterabschnitt (231 bis 236) der Gradientenspule zugeordnet ist, dessen Längsverlauf in etwa parallel zum Grundmagnetfeld (B_0) orientiert ist und der bezüglich einer Stromrichtung im Leiterabschnitt (231 bis 236) der Gradientenspule mit einer entgegengesetzten Stromrichtung betreibbar ist.

25

- 30 3. Gradientenspulensystem (200) nach Anspruch 2, wobei der Leiterabschnitte (331 bis 336) der weiteren Leiteranordnung in etwa parallel zu dem Leiterabschnitt (231 bis 236) der Gradientenspule angeordnet ist.

- 35 4. Gradientenspulensystem (200) nach einem der Ansprüche 2 oder 3, wobei die Leiterabschnitte (231 bis 236, 331 bis 336) eng benachbart angeordnet sind.

5. Gradientenspulensystem (200) nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei einer der Leiterabschnitte (231 bis 236, 331 bis 336) derart ausgebildet und angeordnet ist, dass er den
5 anderen coaxial umschließt.

6. Gradientenspulensystem (200) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Leiteranordnungen zum Führen einer in etwa gleichen Stromstärke ausgebildet und angeordnet sind.

10

7. Gradientenspulensystem (200) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Gradientenspule wenigstens eine sattelförmig ausgebildete Teilspule (211 bis 214) umfasst.

15 8. Gradientenspulensystem (200) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die weitere Leiteranordnung wenigstens einen Leiterabschnitt (321 bis 364) einer Leiteranordnung einer zur Gradientenspule zugehörigen Abschirmspule umfasst.

20 9. Gradientenspulensystem (200) nach Anspruch 8, wobei die Abschirmspule wenigstens eine sattelförmig ausgebildete Teilspule umfasst.

25 10. Gradientenspulensystem (200) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei das Gradientenspulensystem (200) in etwa entsprechend einem Hohlzylinder ausgebildet ist und der Hohlzylinder eine parallel zum Grundmagnetfeld (B_0) ausgerichtete Hohlzylinderhauptachse (201) aufweist.

30 11. Gradientenspulensystem (200) nach Anspruch 10, wobei die Leiteranordnung der Gradientenspule Leiterabschnitte (221 bis 236) umfasst, die bezüglich der Hohlzylinderhauptachse (201) unterschiedlich radial beabstandet sind.

35 12. Gradientenspulensystem (200) nach einem der Ansprüche 10 oder 11, wobei die weitere Leiteranordnung Leiterabschnitt-

te (321 bis 336) umfasst, die bezüglich der Hohlzylinderhauptachse (201) unterschiedlich radial beabstandet sind.

13. Gradientenspulensystem (200) nach einem der Ansprüche 10
5 bis 12, beinhaltend folgende Merkmale:

- Die Leiteranordnung der Gradientenspule weist wenigstens einen Leiterabschnitt (235, 236) auf, dessen Längsverlauf eine Komponente parallel zur Hohlzylinderhauptachse (201) aufweist,
- 10 - die weitere Leiteranordnung umfasst wenigstens einen Leiterabschnitt (335, 336), der in etwa parallel zu dem Leiterabschnitt (235, 236) der Gradientenspule angeordnet ist, und
- 15 - der Leiterabschnitt (235, 236) der Gradientenspule weist einen größeren Abstand bezüglich der Hohlzylinderhauptachse (201) auf als der Leiterabschnitt (335, 336) der weiteren Leiteranordnung.

Zusammenfassung

Gradientenspulensystem

- 5 Ein Gradientenspulensystem (200), insbesondere für ein Magnetresonanzgerät, beinhaltet folgende Merkmale:
- Wenigstens eine Gradientenspule mit einer Leiteranordnung zum Erzeugen eines magnetischen Gradientenfeldes, das eine Hauptfeldkomponente kollinear zu einem Grundmagnetfeld (B_0)
10 und wenigstens eine zur Hauptfeldkomponente senkrechte Begleitfeldkomponente aufweist, und
 - wenigstens eine weitere Leiteranordnung, die zum Erzeugen eines inhomogenen Magnetfeldes derart ausgebildet und angeordnet ist, dass wenigstens in einem Bereich die Hauptfeldkomponente in etwa unverändert und die Begleitfeldkomponente verringert ist.
15

Figur 3

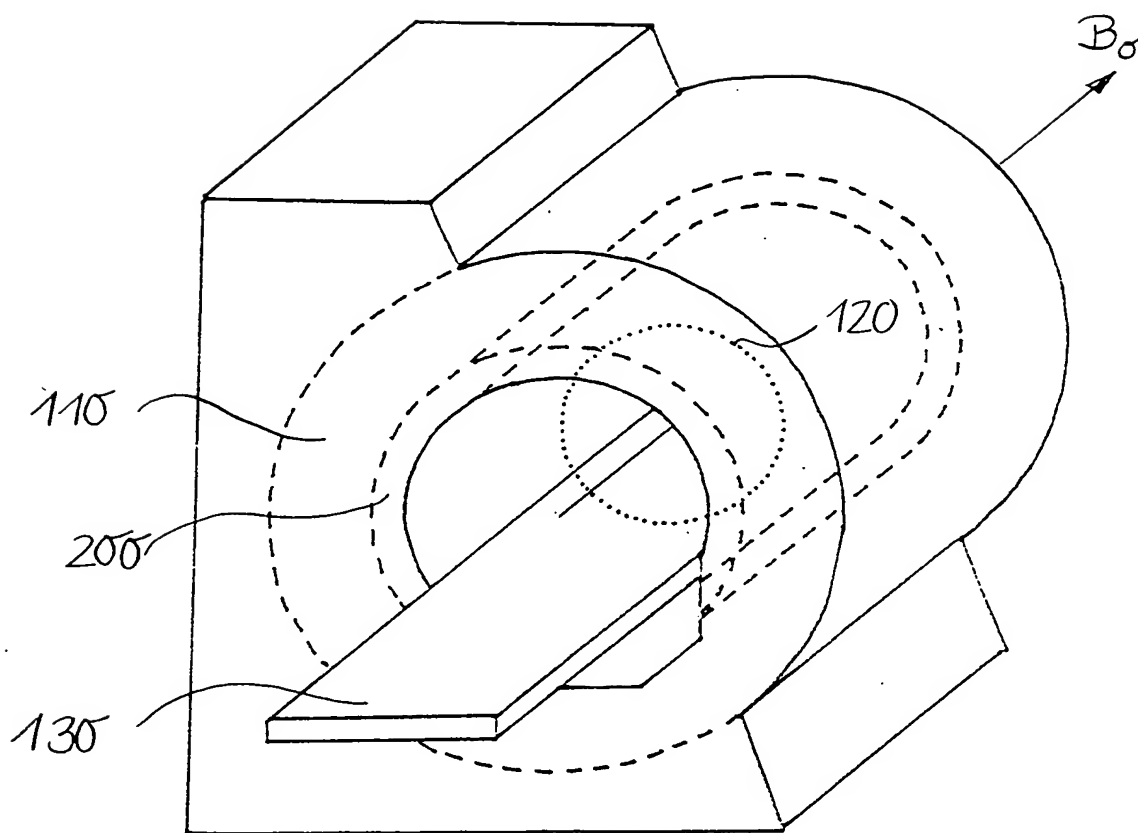


FIG 1

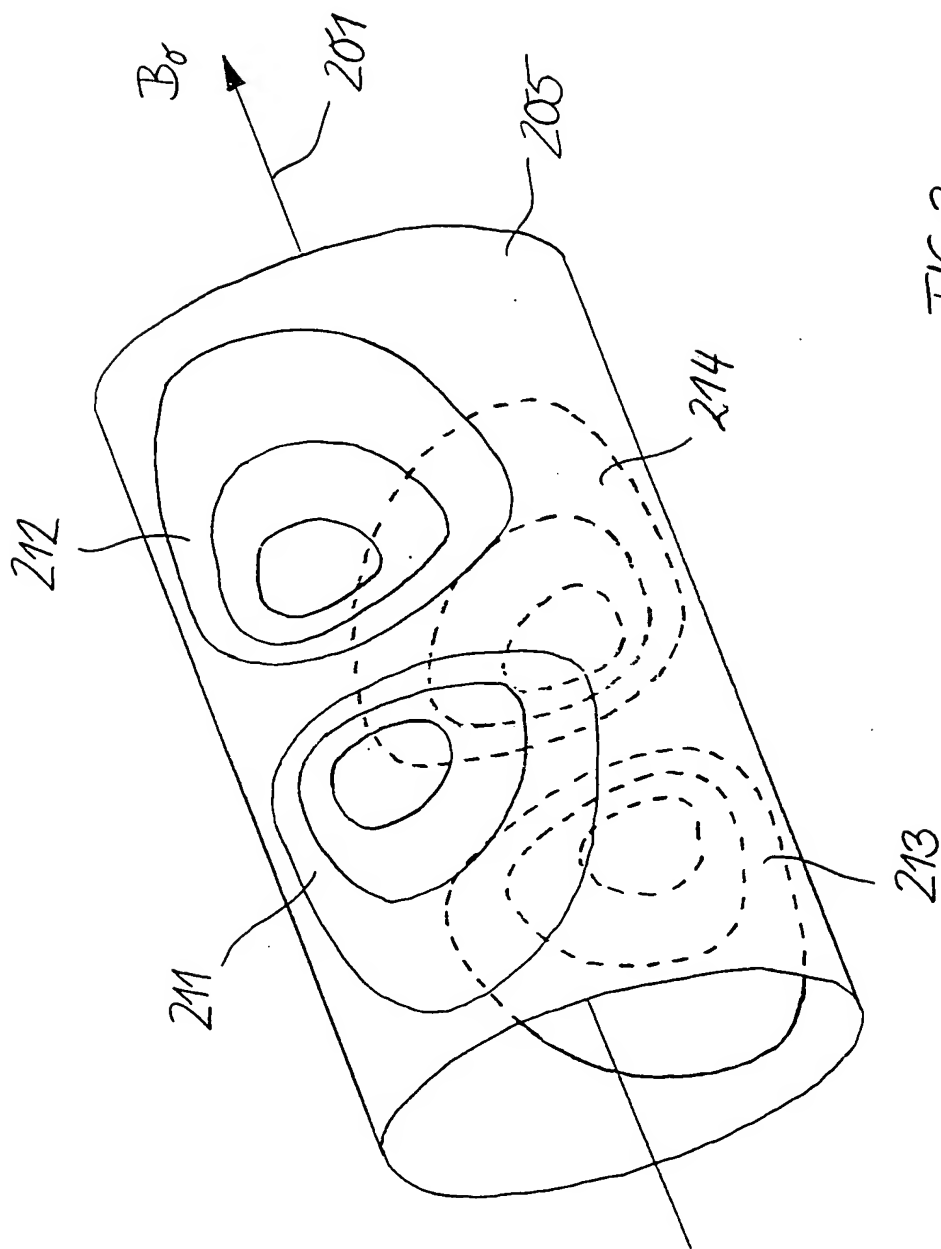


FIG 2

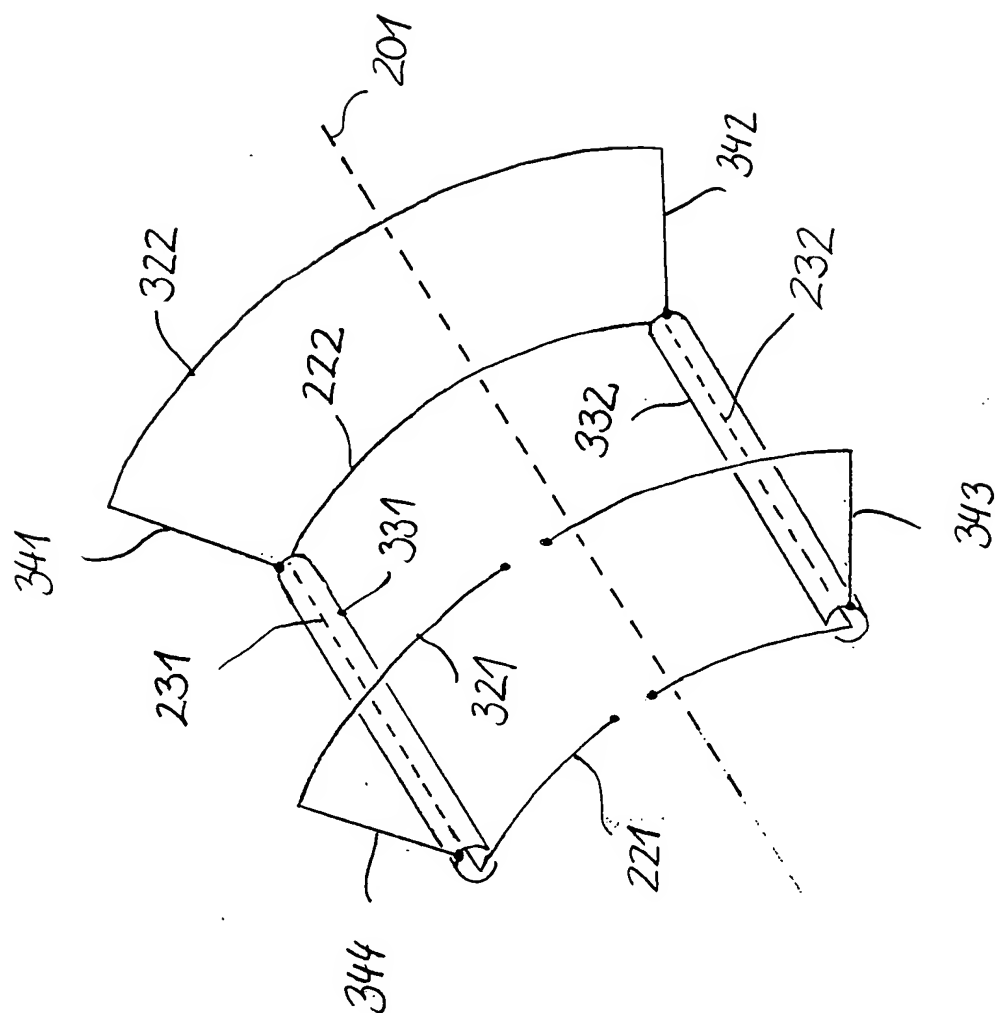


FIG 3

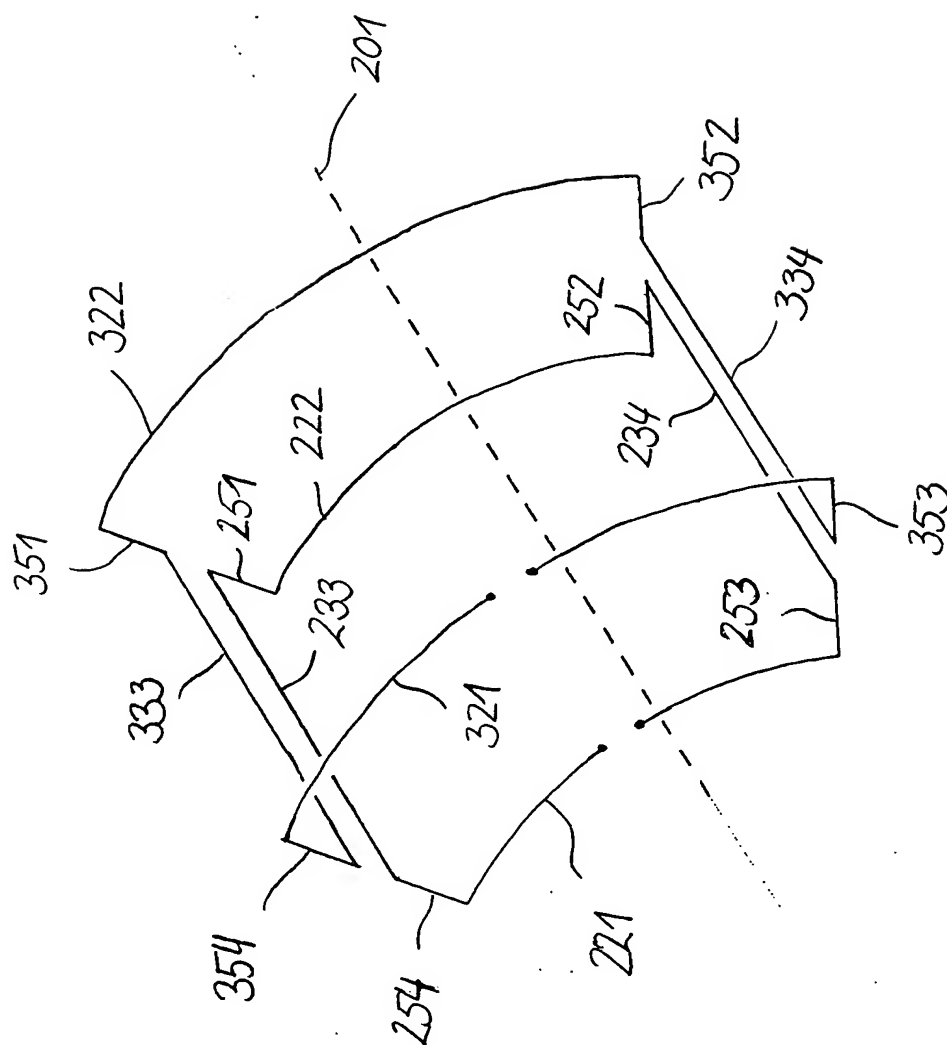


FIG 4

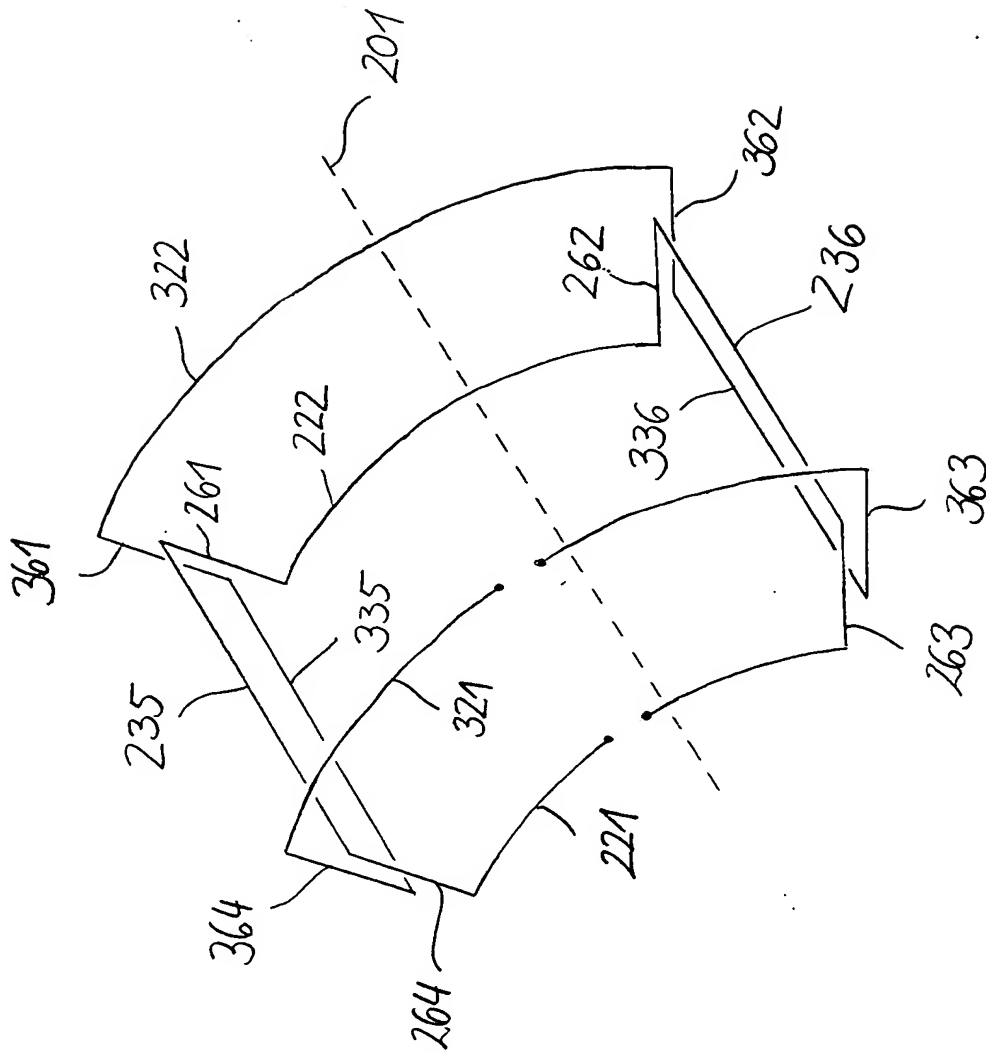


Fig 5